

На рис. 3 для сравнения приведена кривая 4, которая характеризует отклонение от геометрической формы в продольном направлении валиков, обработанных одним резцом.

Резюме. Погрешность формы валиков, обработанных по четвертой схеме в 8 раз меньше погрешности, полученной при обработке по первой и в 4 раза – по второй схемам.

УДК 621.919.1

Н.И. Жигалко, канд.техн.наук,  
Е.С. Викулов

### УРОВЕНЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ

Температура в зоне резания является одним из основных физических факторов процесса протягивания, определяющих уровень скоростей резания, износостойкость зубьев протяжек и оказывающих влияние на состояние протянутой поверхности и долговечность работы деталей машин.

Опыты по измерению температуры резания производились при протягивании образцов из жаропрочной аустенитно-карбидной стали ЗИ-572 (ЗХН19Н9МВТ) НВ = 290...355 и сплавов на никелевой основе АНВ-300 и ЖСК-К с НВ = 375...400, а также для сравнения конструкционной стали 40СНВ 185...200. Обработка осуществлялась незатупленной протяжкой из быстрорежущей стали Р18 или из твердого сплава ВК6М на поперечно-строгальном станке 7Б36. Образцы устанавливались на столе станка, а протяжка – на резцедержателе суппорта. Измерение температуры резания производилось методом естественной термомпары. Режимы протягивания были следующие: скорость резания  $v = 0,5...30$  м/мин, а толщина среза (подъем на зуб)  $S_z = 0,01 - 0,2$  мм. Передний угол зуба протяжки  $\gamma = 0...20^\circ$ .

Условия протягивания при проведении основных опытов устанавливались с учетом многофакторного эксперимента (табл.1), когда одновременно изменялись режимы протягивания и геометрические параметры протяжек, т.е. протягивание производилось в условиях, близких к реальным. Часть опытов также выполнялась по классической методике, когда один из параметров протягивания изменялся, а все остальные оставались постоянными.

Таблица 1

Номер п/п	$v$ , м/мин	$S_z$ , мм	$\gamma^\circ$	$T$ , $^\circ\text{C}$ , для стали ЭЧ572	$T$ , $^\circ\text{C}$ , для сплава АМВ-300	Для сплава ЖСВ-К			
						$v$ , м/мин	$S_z$ , мм	$\gamma^\circ$	$\bar{T}$ , $^\circ\text{C}$
1	4,5	0,03	1,8	310	430	2,25	0,03	1,8	570
2	27,5	0,03	1,8	380	1000	18,25	0,03	1,8	880
3	4,5	0,18	1,8	340	580	2,25	0,18	1,8	570
4	27,5	0,18	1,8	590	870	18,25	0,18	1,8	880
5	4,5	0,03	18,2	240	490	2,25	0,03	18,2	620
6	27,5	0,03	18,2	500	580	18,25	0,03	18,2	120
7	4,5	0,18	18,2	370	750	2,25	0,18	18,2	680
8	27,5	0,18	18,2	590	750	18,25	0,18	18,2	280
9	18	0,1	10	480	870	10,25	0,1	10	680
10	30	0,1	10	500	870	20	0,1	10	380
11	2	0,1	10	290	430	0,5	0,1	10	280
12	18	0,2	10	240	950	10,25	0,2	10	800
13	18	0,01	10	460	460	10,25	0,01	10	570
14	18	0,1	20	500	950	10,25	0,1	20	940
15	18	0,1	0	590	870	10,25	0,1	0	740

Примечание. Значения  $T$  даны усредненные.

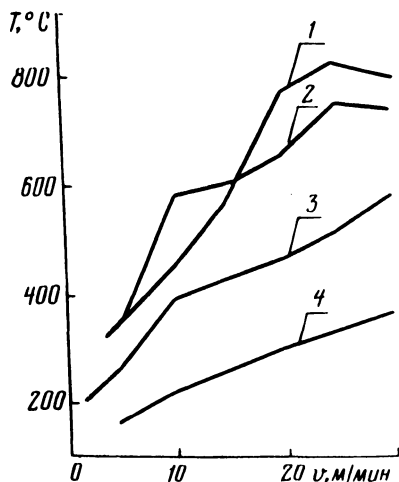


Рис. 1. Влияние скорости протягивания на температуру резания при обработке сталей и сплавов 1, 2, 3, 4 - марок 40, ЭИ-572, АНВ-300 и ЖСВ-К протяжкой с  $S_z = 0,06$  мм: 1 - сплав ЖСВ-К; 2 - сплав АНВ-300; 3 - сталь ЭИ-572; 4 - сталь 40.

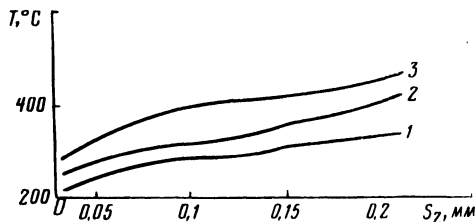


Рис. 2. Зависимость температуры резания от подъема на зуб при протягивании сплавов со скоростью резания  $v = 4$  м/мин. Обозначения такие же, как на рис. 1.

Зависимости температуры резания от скорости протягивания  $T = f(v)$  (рис. 1) и от толщины среза (подъем на зуб)  $T = f(S_z)$  (рис. 2), построенные на основании опытов, когда изменялся один из параметров, а другие оставались постоянными, показывают, что с повышением подъема на зуб темпера-

тура резания увеличивается в меньшей степени, чем при повышении скоростей резания. Кроме того, температура резания при протягивании сплавов на никелевой основе АНВ-300 и ЖС6-К значительно выше, чем при протягивании жаропрочной стали ЭИ-572 и тем более конструкционной стали 40. Это связано с повышенными физико-механическими характеристиками перечисленных сталей по сравнению со сталями марок ЭИ-572 и 40. К тому же, чем тверже материал и чем меньше площадь соприкосновения сходящей стружки с передней поверхностью зуба протяжки, тем больше выделяется тепла и тем менее интенсивно оно отводится из зоны резания. Теплопроводность жаропрочных сплавов значительно ниже, чем сталей, а поэтому образуемая теплота в большей степени концентрируется в режущем инструменте.

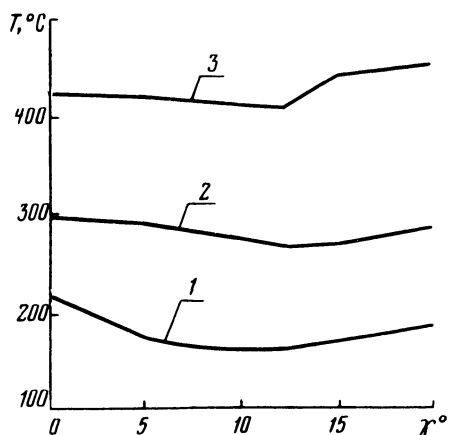


Рис. 3. Влияние переднего угла зуба протяжки на температуру резания при обработке сплавов с  $v = 4$  м/мин и  $S_z = 0,08$  мм. Обозначения такие же, как на рис. 1.

Изменение переднего угла в пределах от 0 до 20° оказывает значительное влияние на температуру в зоне резания (рис. 3). Наименьшая температура резания установлена при  $\gamma = 10 - 12^\circ$ . Обычно с увеличением переднего угла  $\gamma$  от 0 до 12° температура в зоне резания снижается, что связано с уменьшением степени деформации срезаемого слоя. При дальнейшем увеличении переднего угла  $\gamma$  до 20° температура резания повышается, что объясняется уменьшением угла заострения зуба протяжки и снижением интенсивности отвода тепла в инструмент из зоны резания.

Как указывалось, наряду с проведением опытов по классической методике по установлению зависимостей  $T = f(v, S_z, \gamma)$  были также выполнены исследования по методике планируемого эксперимента, т.е. методом центрального композиционного пла-

Таблица 2

Марка стали	Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ЭИ-572	T <sup>o</sup> , C (измер.)	310	380	340	590	240	500	370	590	460	500	290	240	460	500	590
	T <sup>o</sup> , C (вычисл.)	275,6	337,3	318,4	450,1	264,1	405,1	296,8	508,5	435,4	601,4	249,6	338	434,8	463,8	483,7

Марка сплава	T <sup>o</sup> , C	430	1000	580	870	490	580	750	750	870	870	430	950	460	950	870
АНВ-300	T <sup>o</sup> , C (вычисл.)	375,7	834,3	583,1	836,5	517,7	591,1	910,3	798,5	776,4	987,0	573,8	813,6	677,9	741,0	844,8

Марка сплава	T <sup>o</sup> , C (измер.)	570	860	570	680	620	120	680	280	680	380	280	800	570	940	740
ЖСВ-К	T <sup>o</sup> , C (вычисл.)	486	673,2	428,6	657,8	614,2	151,4	856	354	634,8	460	475,8	622,8	833	715	698,8

пирования. В результате математической обработки опытных данных (табл. 1) получены следующие уравнения регрессии:

1) при протягивании сплава ЖС6-К

$$T = 698,8 - 78,9X_1 + 61,3X_2 - 48,4X_3 - 10X_1X_2 - 162,5X_1X_3 + 50X_2X_3 - 106,6X_1^2 - 99,7X_2^2 + 50,04X_3^2; \quad (1)$$

2) при протягивании стали ЭИ-572

$$T = 483,7 + 68,3X_1 + 36,4X_2 + 11,7X_3 + 17,5X_1X_2 + 20X_1X_3 - 2,5X_2X_3 + 23,1X_1^2 - 126,6X_2^2 - 23,1X_3^2; \quad (2)$$

3) при протягивании сплава АНВ-300

$$T = 844,8 + 86,7X_1 + 98,7X_2 + 26,04X_3 - 46,25X_1X_2 - 96,25X_1X_3 + 51,25X_2X_3 + 24,6X_1^2 - 100,7X_2^2 - 90,3X_3^2. \quad (3)$$

Результаты сравнения измеренных ( $T, ^\circ\text{C}$ ) и вычисленных ( $\hat{T}, ^\circ\text{C}$ ) по формулам (1) - (3) значений температур представлены в табл. 2. Для определения коэффициентов множеств-

Таблица 3

Номер опыта	ЭИ-572		АНВ-300		ЖС6-К	
	$T - \hat{T}, ^\circ\text{C}$	$T - \bar{T}, ^\circ\text{C}$	$T - \hat{T}, ^\circ\text{C}$	$T - \bar{T}, ^\circ\text{C}$	$T - \hat{T}, ^\circ\text{C}$	$T - \bar{T}, ^\circ\text{C}$
1	1183,0	13000	2959,0	85850	7058	216,1
2	1823,0	1938	27450,0	78730	34970	75790,1
3	468,8	7058	285,8	20450	18994	216,1
4	19600,0	27560	11222,0	21610	17,8	9082,1
5	580,8	33860	787,3	54290	33,8	1248,1
6	8892,0	5778	123,2	20450	986	215948,1
7	5358,0	2918	25700,0	712,9	30980	9082,1
8	6642,0	275,0	2352,0	712,9	5478	82842,1
9	805,2	1298	8781,0	21610	2043	9082,1
10	10208,0	5778	13890,0	21610	6400	41902,1
11	1832,0	17960	20880,0	85850	38420	82842,1
12	9604,0	33860	18610,0	51530	31330	46354,1
13	635,0	1298	47430,0	69170	69170	216,1
14	1354,0	5778	23680,0	51530	50630	126238,1
15	11246,0	27560	6350,0	21610	1697	24118,1
	79829,8	213188	210060,1	603715,8	298203,2	745173,5

Таблица 4

Обрабатываемый материал	Коэффициент множественной корреляции R	Значение A $A =  R  \sqrt{N-1}$
ЭИ-572	0,79	2,95
АНВ-300	0,99	3,6
ЖС6-К	0,77	2,93

венной корреляции, характеризующих тесноту связи температуры резания с независимыми переменными  $v$ ,  $S_z$  и  $\gamma$ , определены значения  $(T \dots - \hat{T} \dots)$  и  $(T, ^\circ\text{C} - T, ^\circ\text{C})$ . По полученным данным табл. 1 и 2 составлена табл. 3. Значения найденных коэффициентов корреляции приводятся в табл. 4. На основании значений коэффициентов корреляции, а также отклонений расчетных и экспериментальных значений температуры резания можно считать с вероятностью 0,95 установленные связи реальными, а коэффициенты корреляции значимыми. Имеющиеся расхождения в расчетных и экспериментальных величинах температуры резания при различных опытах можно объяснить погрешностью экспериментов, а также нелинейным влиянием учтенных факторов.

Таким образом, температура резания является основным параметром при определении характера износа протяжек и установления уровня скоростей протягивания, а также оказывает влияние на состояние протянутых поверхностей. Температура резания повышается с увеличением скоростей протягивания и подъемов на зуб. При этом наибольшее увеличение температуры наблюдается при повышении скоростей протягивания.

Резюме. Температура резания при протягивании жаропрочного сплава ЖС6-К значительно выше ( $T^0 = 600 \dots 1000^\circ\text{C}$ ), чем при обработке стали ЭИ-572 ( $T = 250 \dots 600^\circ\text{C}$ ) и тем более стали 40. В связи с этим обработку стали ЭИ-572 следует производить быстрорежущими протяжками и протяжками, оснащенными твердым сплавом, на повышенных скоростях резания, а обработку сплава на никелевой основе ЖС6-К - только твердосплавными протяжками с невысокими скоростями резания ( $v$  до 10 - 15 м/мин). Промежуточным по уровню температур резания является сплав на никелевой основе АНВ-300, обработку которого можно осуществлять на промежуточных режимах резания быстрорежущими и твердосплавными протяжками. Указанный сплав можно рекомендовать вместо дорогостоящего сплава ЖС6-К.